استفاده از مایکروویو برای بهبود کیفیت و کاهش زمان سرخ شدن برش‌های کدوخورشتی

فخرالدین صالحی[a*]، مصطفی امیری[b]، سارا قزوینه[c]

[a] دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
[b] دانشجوی کارشناسی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶

چکیده

مقدمه: خشک‌کردن برش‌های سیب‌زمینی قبل از سرخ‌کردن، جذب روغن توسط محصول را به مقدار قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. در این پژوهش اثر پیش‌تیمار مایکروویو بر زمان سرخ‌شدن، جذب روغن، مؤلفه‌های رنگی و ویژگی‌های حسی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده بررسی شد.

مواد و روش‌ها: برای اعمال پیش‌تیمار، برش‌های کدوخورشتی با ضخامت ۱ سانتی‌متر به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه داخل دستگاه مایکروویو (توان ۴۴۰ وات) قرار گرفتند. برش‌های تیمار شده توسط سرخ‌کن با دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس سرخ شدند. در این پژوهش، زمان سرخ شدن، مقدار رطوبت، جذب روغن، سختی، پارامترهای رنگی، شاخص تغییرات رنگ، تغییرات مساحت سطح و خصوصیات حسی نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو باعث کاهش زمان سرخ‌شدن، مقدار رطوبت و جذب روغن برش‌های کدوخورشتی شد. زمان سرخ شدن برش‌های کدوخورشتی تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه به ترتیب برابر ۱۴۷/۳، ۱۲۵/۰، ۱۱۲/۰ و ۹۱/۳ ثانیه بود. سختی بافت برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده با افزایش زمان تیماردهی با مایکروویو کاهش یافت. اعمال تیمار مایکروویو به مدت ۳ دقیقه باعث کاهش شاخص‌های روشنایی و سبزی به ترتیب از ۷۷/۴۶ به ۷۵/۰۳ و از ۳/۷۲- به ۱/۰۷- ($p>0/05$) و همچنین به‌صورت معنی‌دار باعث افزایش شاخص زردی از ۳۳/۰۹ به ۴۱/۱۳ شد ($p<0/05$). از نظر امتیاز پذیرش ظاهر، بو، بافت و طعم و همچنین پذیرش کلی، محصول پیش‌تیمار شده با مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بالاترین امتیاز را داشت.

نتیجه‌گیری: تیماردهی برش‌های کدوخورشتی با مایکروویو به‌مدت ۳ دقیقه باعث کوتاه‌شدن زمان سرخ‌کردن، کاهش جذب روغن و افزایش پذیرش حسی محصول شد.

واژه‌های کلیدی: *جذب روغن، خصوصیات حسی، سختی، کدو خورشتی، مساحت سطح، مقدار رطوبت*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: F.Salehi@Basu.ac.ir

مقدمه

محصولات کشاورزی در صورت عدم فرآوری و نگهداری در شرایط مناسب به‌سرعت فاسد می‌شوند. با فرآوری این محصولات، مواد غذایی متنوعی ایجاد می‌شود که مصرف‌کنندگان تمایل بیشتری برای خرید و مصرف آنها دارند. سرخ‌کردن یکی از رایج‌ترین روش‌های فرآوری محصولات کشاورزی است و برای تولید محصولات غذایی سرخ‌شده جدید در بسیاری از صنایع غذایی استفاده می‌شود. ویژگی‌های منحصربه‌فرد حسی شامل رنگ، عطر، بافت و طعم، مصرف‌کنندگان را به سمت غذاهای سرخ‌شده جذب می‌کند (Juvvi *et al.*, 2024).

ازآنجایی‌که امروزه مصرف‌کنندگان به دنبال محصولات غذایی سالم و کم‌چرب هستند، کاهش جذب روغن در غذاهای سرخ‌شده اهمیت پیدا کرده است (Salehi, 2020; Neethu *et al.*, 2024). روغن خوراکی به‌عنوان یک محیط گرمایشی در دمای بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سلسیوس در سرخ‌کردن معمولی استفاده می‌شود و تغییرات قابل‌توجهی را در غذاهای سرخ‌شده پس از قرار گرفتن در معرض روغن داغ ایجاد می‌کند (Verma *et al.*, 2023). طی فرآیند سرخ‌کردن گرما از روغن به ماده غذایی منتقل می‌شود و منجر به انتقال جرم می‌گردد و این فرآیند هم‌زمان با خروج رطوبت محصول و جذب روغن است (Lumanlan *et al.*, 2020). همان‌طور که خواص ساختار مواد در طول سرخ‌کردن تغییر می‌کند، منافذ ایجاد می‌شود و ساختار منافذ نقش حیاتی در جذب روغن بازی می‌کند. بیشتر مکانیسم‌های جذب روغن بر روی این منافذ، اثرات مویرگی و تراکم رطوبت آزاد شده از محصول سرخ‌شده متمرکز است. برای به حداقل رساندن جذب روغن در حین سرخ‌کردن، درک مکانیسم‌ها و مسیر مهاجرت روغن به ریزساختار غذاها ضروری است (Neethu *et al.*, 2024).

چندین روش برای کاهش جذب روغن هنگام سرخ‌کردن مواد غذایی پیشنهاد شده است (Gallegos-Marin *et al.*, 2020; Lumanlan *et al.*, 2020; Salehi, 2020; Salehi *et al.*, 2022; Faloye *et al.*, 2024). یکی از این روش‌ها استفاده از مایکروویو به‌عنوان پیش‌تیمار و کاهش رطوبت محصول قبل از فرآیند سرخ‌کردن است. دستگاه مایکروویو امروزه یکی از تجهیزات متداول خانگی است و حرارت دادن یا گرم کردن مجدد غذاها با مایکروویو به یک بخش ضروری از تهیه غذا در خانه تبدیل شده است. گرمایش با مایکروویو در مقایسه با روش حرارتی معمولی مزایای زیادی مانند صرفه‌جویی در انرژی، زمان پخت و گرم شدن کوتاه‌تر، بهبود یکنواختی محصول و ایجاد ریزساختارها و خواص منحصربه‌فرد دارد. گرمایش با انرژی مایکروویو (فرکانس مایکروویو، در این موارد، شامل فرکانس‌های رادیویی و محدوده‌ای از ۰/۳ مگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز است) تا حد زیادی تحت تأثیر وجود آب در غذاها قرار می‌گیرد (Clark *et al.*, 2000; Salehi *et al.*, 2024). در خشک‌کردن مواد غذایی در مایکروویو، کاهش زمان خشک شدن تا ۹۰–۲۵ درصد و افزایش سرعت خشک شدن ۴ تا ۸ برابر در مقایسه با خشک‌کردن همرفتی گزارش شده است (Omidiran *et al.*, 2023). از روش تیماردهی با مایکروویو قبل از سرخ‌کردن محصولات مختلف استفاده شده است (Adedeji *et al.*, 2009; Ngadi *et al.*, 2009; Jia *et al.*, 2018; Dehghannya and Ngadi, 2023; Omidiran *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2023). برهمکنش امواج مایکروویو با مولکول‌های آب قطبی داخل محصول، انرژی مایکروویو را جذب کرده و گرمایش سریع ایجاد می‌کند. به دلیل فشار داخلی بخار، این گرما یک انتقال جرم سریع ایجاد می‌کند و محصول را بدون گرم کردن بیش از حد، خشک می‌کند (Verma *et al.*, 2023). این کاهش رطوبت باعث کاهش جذب روغن هنگام سرخ‌کردن می‌شود. نتایج گزارش شده نشان می‌دهد که استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو قبل از فرآیند سرخ‌کردن می‌تواند باعث کاهش جذب روغن توسط محصول می‌شود (Adedeji *et al.*, 2009; Karacabey *et al.*, 2017; Dehghannya and Ngadi, 2023; Zhang *et al.*, 2023). Ngadi و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر پیش‌تیمار مایکروویو به مدت ۱ تا ۲ دقیقه بر سرعت انتقال جرم در طی سرخ‌کردن ناگت مرغ در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۰ تا ۳۰۰ ثانیه را بررسی کردند. نتایج آنها نشان می‌دهد که پیش‌تیمار با مایکروویو تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش رطوبت و جذب روغن ناگت‌های مرغ طی سرخ‌کردن عمیق دارد (Ngadi *et al.*, 2009).

کدوخورشتی خشک و سرخ‌شده یک غذای لذیذ است که به‌عنوان میان وعده و یا غذای اصلی در کشورهای مختلف مصرف می‌شود (Andreou *et al.*, 2021;

Salehi *et al.*, 2022). هدف از این پژوهش بررسی اثر پیش‌تیمار مایکروویو بر زمان سرخ شدن، مقدار رطوبت، جذب روغن، سختی، پارامترهای رنگی، شاخص تغییرات رنگ، تغییرات سطح و خصوصیات حسی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده است.

مواد و روش‌ها

- تهیه و برش کدوخورشتی

کدوخورشتی تازه (*Cucurbita pepo var. cylindrica*) با اندازه متوسط از شهرستان ورامین (استان تهران، ایران) تهیه شد. کدوخورشتی‌ها توسط اسلایسر صنعتی (جرمی، مدل AF-23، ایتالیا) به قطعاتی با ضخامت ۱ سانتی‌متر برش داده شدند.

- اعمال پیش‌تیمار مایکروویو

برش‌های کدوخورشتی قبل از فرآیند سرخ‌کردن به مدت ۰ (نمونه شاهد)، ۱، ۲ و ۳ دقیقه توسط دستگاه مایکروویو خانگی (جی‌پلاس، مدل GMW-M425S.MIS00، شرکت گلدیران، ایران) با توان ۴۴۰ وات تیماردهی شدند.

- سرخ‌کردن برش‌های کدوخورشتی

برش‌های کدوخورشتی بعد از تیماردهی توسط مایکروویو، توسط سرخ‌کن دلونگی (F18، ۱۸۰۰ وات، ایتالیا) با دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس سرخ‌شده و زمان سرخ شدن هر نمونه یادداشت و گزارش شد. جهت سرخ‌کردن عمیق از روغن مایع مخصوص سرخ‌کردن بدون پالم (آفتابگردان–سویا، ورامین، ایران) استفاده شد. جهت کنترل دمای سرخ‌کن از دماسنج دیجیتالی تماسی[1] (±۰/۱°C) استفاده گردید.

- درصد رطوبت و جذب روغن برش‌های کدوخورشتی

برش‌های کدوخورشتی بعد از سرخ شدن، از سرخ‌کن خارج و پس از حذف روغن سطحی توسط دستمال کاغذی، بلافاصله تغییرات وزن، مقدار رطوبت و درصد روغن آنها اندازه‌گیری شد. تغییرات وزن نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتالی (GM-300p، لوترون، تایوان) با دقت ۰/۰۱ ± گرم، ثبت گردید. مقدار رطوبت برش‌های کدوخورشتی با استفاده از آون (شیماز، ایران) با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس و در مدت زمان ۵ ساعت اندازه‌گیری شد (Hosseini, 2006). درصد روغن جذب‌شده[2] توسط نمونه‌های سرخ‌شده، از کسر ماده جامد برش‌های تازه کدوخورشتی از مقدار ماده جامد برش‌های سرخ‌شده، تقسیم بر وزن محصول سرخ‌شده ضرب در ۱۰۰ به دست آمد (Salehi *et al.*, 2022).

- آزمون نفوذ

بلافاصله پس از سرخ‌کردن برش‌ها، نمونه‌ها خنک شدند و بعد از حذف روغن باقی‌مانده روی سطح، سختی آن‌ها اندازه‌گیری شد. آزمون نفوذ با استفاده از دستگاه بافت سنج (Santam, STM-5, Iran) و پروب استوانه‌ای با قطر ۲/۵ میلی‌متر انجام شد. سرعت نفوذ پروب به داخل نمونه ۱ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد (Li *et al.*, 2022).

- مؤلفه‌های رنگی کدوخورشتی سرخ‌شده

در این پژوهش ابتدا توسط یک اسکنر (اچ‌پی، Scanjet 300، چین) از برش‌های تازه و سرخ‌شده کدوخورشتی عکس در فرمت JPG تهیه و بعد از تبدیل به فرمت $L^*a^*b^*$ توسط نرم‌افزار Image J (ویرایش 1.42e، آمریکا)، مؤلفه‌های رنگی در مقیاس L^*، a^* و b^* محاسبه و گزارش شد. مقادیر تغییر رنگ کلی (ΔE) برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده، در مقایسه با نمونه تازه محاسبه شد. مساحت سطح[3] نمونه‌های تازه و سرخ‌شده به‌طور مستقیم از روی عکس‌ها با نرم‌افزار ImageJ اندازه‌گیری و درصد تغییرات مساحت سطح برش‌های سرخ‌شده نسبت به برش‌های تازه محاسبه و گزارش شد (Salehi *et al.*, 2021).

- ارزیابی حسی برش‌های سرخ‌شده

برای ارزیابی خصوصیات حسی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده از ۱۷ ارزیاب و روش امتیازدهی استفاده شد. در جدول ارزیابی حسی، شاخص‌ها شامل پذیرش ظاهر، پذیرش بو، پذیرش بافت، پذیرش طعم و پذیرش کلی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده بود.

[1] Lutron, TM-916, Taiwan [2] Oil uptake (OU) [3] Surface area

- تجزیه و تحلیل آماری

تمام آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد. این پژوهش بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 تجزیه‌وتحلیل شد. برای مقایسه میانگین پاسخ‌های مشاهده‌شده، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

یافته‌ها

- اثر مایکروویو بر زمان سرخ‌شدن

شکل ۱ اثر تیماردهی با مایکروویو بر زمان سرخ شدن برش‌های کدوخورشتی را نشان می‌دهد. نتایج گزارش شده در این شکل حاکی از این است که قرار گرفتن در معرض امواج مایکروویو باعث کاهش زمان سرخ شدن برش‌های کدوخورشتی می‌شود. از نظر آماری اختلاف معناداری بین زمان سرخ شدن برش‌های کدوخورشتی تیمار شده با نمونه شاهد وجود داشت ($p<۰/۰۵$) و کمترین زمان سرخ شدن (۹۱/۳ ثانیه) هم مربوط به نمونه تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بود.

- درصد رطوبت

خشک‌کردن فرآیندی است که در آن رطوبت محصول تا حد معینی از طریق تبخیر کاهش می‌یابد (Ozkan *et al.*, 2007). پیش‌تیمار مایکروویو باعث از دست دادن سریع و شدید رطوبت توسط محصول می‌شود و محصولی با محتوای آب کمتر قبل از سرخ‌کردن ایجاد می‌کند (Ngadi *et al.*, 2009). اثرات پیش‌تیمار مایکروویو بر میزان رطوبت برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است. در این پژوهش اعمال پیش‌تیمار مایکروویو باعث کاهش مقدار رطوبت برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده شد اما این کاهش معنی‌داری نبود ($p>۰/۰۵$).

- جذب روغن

شکل ۳ اثر تیماردهی با مایکروویو بر جذب روغن برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده را نشان می‌دهد. استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو و قرار گرفتن در معرض امواج مایکروویو به‌صورت معنی‌داری باعث کاهش جذب روغن توسط برش‌های کدوخورشتی هنگام سرخ‌کردن شد ($p<۰/۰۵$). با توجه با اینکه پیش‌تیمار مایکروویو باعث کاهش رطوبت و خشک شدن محصول می‌شود (Salehi *et al.*, 2024)، لذا جذب روغن برش‌های کدوخورشتی کاهش یافت. جذب روغن برش‌های کدوخورشتی تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه و سرخ‌شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۱۶/۱۷، ۱۵/۴۱، ۱۴/۵۶ و ۱۳/۸۹ درصد بود.

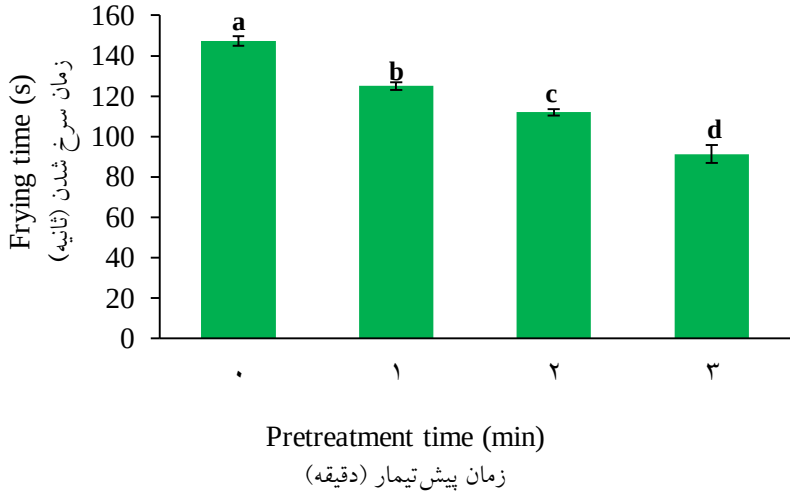

Figure 1- Effect of microwave treatment on frying time of zucchini slices.
Different letters above the columns indicate significant difference ($p<0.05$)

شکل ۱- تأثیر تیماردهی با مایکروویو بر زمان سرخ شدن برش‌های کدوخورشتی
حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است ($p<۰/۰۵$).

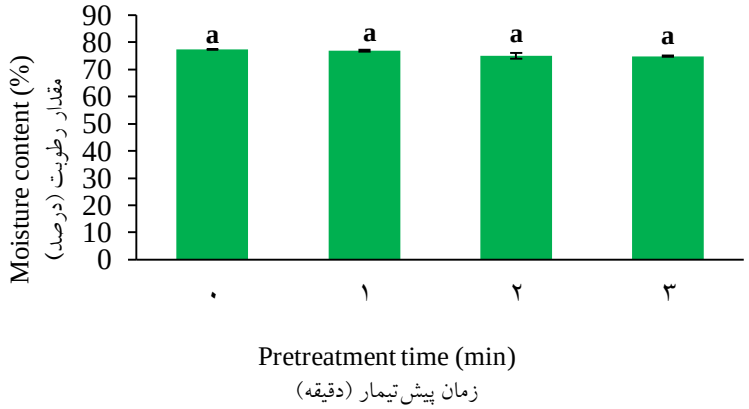

Figure 2- Effect of microwave pretreatment on moisture content of fried zucchini slices.
Same letters above the columns indicate no significant difference (p>0.05)

شکل ۲- اثر پیش‌تیمار مایکروویو بر مقدار رطوبت برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده
حروف یکسان بالای ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار است (p>۰/۰۵).

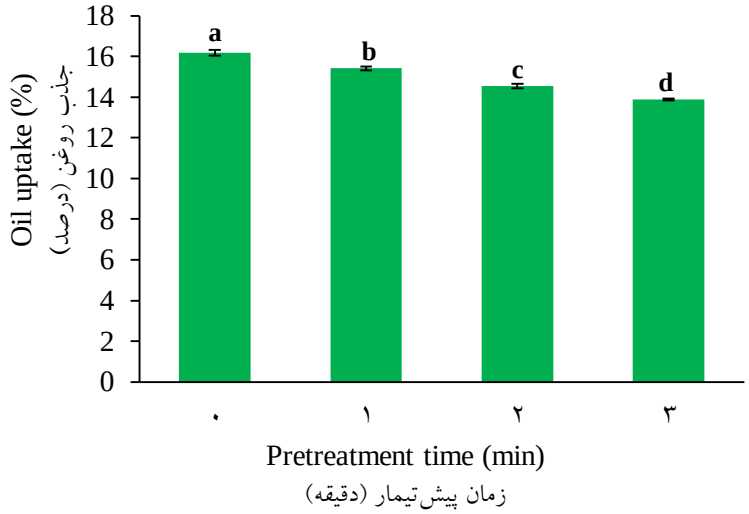

Figure 3- Effect of microwave pretreatment on oil uptake of fried zucchini slices.
Different letters above the columns indicate significant difference (p<0.05)

شکل ۳- اثر پیش‌تیمار مایکروویو بر جذب روغن برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده
حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است (p<۰/۰۵).

- سختی بافت

سختی (نیروی شکست) نشانگر تردی است و این ویژگی بافتی یک پارامتر مهم برای مواد غذایی سرخ‌شده است. مقادیر سختی کمتر به معنای تردی بیشتر است. شکل ۴ اثر تیماردهی با مایکروویو بر سختی بافت برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده را نشان می‌دهد. استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو باعث کاهش سختی بافت برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده شد. سختی بافت برش‌های کدوخورشتی تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه و سرخ‌شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۰/۸۳، ۰/۷۳، ۰/۷۱ و ۰/۵۱ نیوتن بود. این کاهش سختی نشان می‌دهد که برش‌های کدوخورشتی تیمار شده و سرخ‌شده در این مطالعه ممکن است به تلاش کمتری برای جویدن نیاز داشته باشند و در نتیجه قابلیت هضم را تقویت کنند (Omidiran *et al.*, 2023).

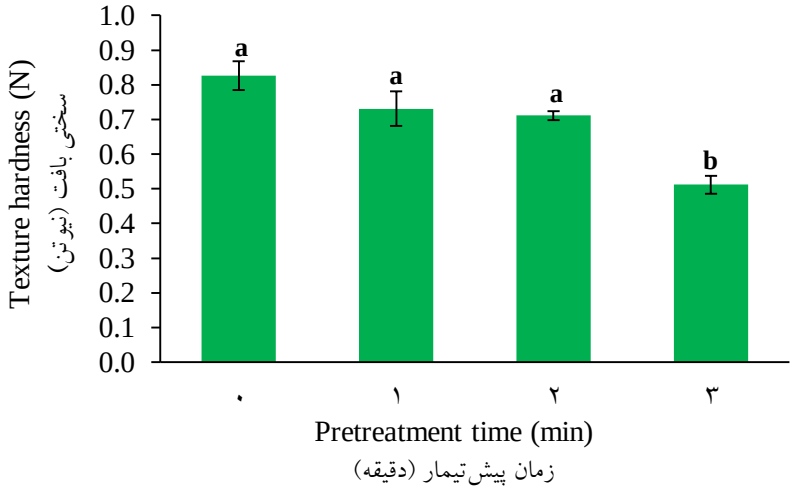

Figure 4- Effect of microwave pretreatment on texture hardness of fried zucchini slices.
Different letters above the columns indicate significant difference ($p<0.05$)

شکل ٤- اثر پیش‌تیمار مایکروویو بر سختی بافت برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده
حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است (p<۰/۰۵)

- مؤلفه‌های رنگی برش‌های سرخ‌شده

در این مطالعه متوسط مقدار عددی شاخص‌های زردی، قرمزی و روشنایی برای برش‌های تازه کدوخورشتی به ترتیب برابر ۳۰/۷۳، ۸/۹۶- و ۸۶/۰۷ بود. در شکل ۵ اثر تیماردهی با مایکروویو بر مؤلفه‌های رنگی (روشنایی، سبزی (قرمزی)، زردی و شاخص تغییر رنگ کلی) برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده نشان داده شده است. شاخص روشنایی یک پارامتر مهم در صنعت سرخ‌کردن است و معمولاً به‌عنوان یک عامل کنترل کیفیت استفاده می‌شود (Teruel *et al.*, 2014). اعمال تیمار مایکروویو باعث کاهش شاخص روشنایی از ۷۷/۴۶ به ۷۵/۳۰ شد، اما این کاهش معنی‌دار نبود (p>۰/۰۵). البته کاهش روشنایی طی فرآیند سرخ‌کردن یک تغییر معمولی است که برای بسیاری از محصولات سرخ‌شده گزارش شده است (Teruel *et al.*, 2014).

نتایج گزارش شده در شکل ۵ نشان می‌دهد که اعمال تیمار مایکروویو باعث کاهش شاخص سبزی (افزایش شاخص قرمزی) برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده شد، اما این کاهش معنی‌دار نبود (p>۰/۰۵)؛ اما اعمال تیمار مایکروویو اثر معنی‌داری بر تغییر شاخص زردی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده داشت (p<۰/۰۵) و با افزایش زمان تیماردهی به ۳ دقیقه، مقدار زردی سطح نمونه‌ها به‌صورت معنی‌داری از ۳۳/۰۹ به ۴۱/۱۳ افزایش یافت.

در شکل ۵ نتایج مربوط به شاخص تغییر رنگ کلی نیز گزارش شده است. این نتایج نشان می‌دهد که افزایش زمان اعمال پیش‌تیمار مایکروویو باعث افزایش تغییرات رنگ در برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده گردیده و در نتیجه مقادیر این شاخص افزایش یافت. اعمال تیمار مایکروویو به مدت ۳ دقیقه به‌صورت معنی‌دار باعث افزایش شاخص تغییر رنگ کلی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده از ۹/۵۴ به ۱۸/۵۵ شد (p<۰/۰۵).

- تغییر اندازه برش‌های سرخ‌شده

شکل ۶ اثر تیماردهی با مایکروویو بر درصد تغییرات مساحت سطح برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده را نشان می‌دهد. استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو باعث کاهش اندازه برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده گردید و در نتیجه باعث افزایش شاخص تغییر مساحت سطح شد. از نظر آماری اختلاف معناداری بین مقدار شاخص تغییر مساحت سطح برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده پیش‌تیمار شده به مدت ۲ و ۳ دقیقه با نمونه شاهد وجود داشت (p<۰/۰۵) و بیشترین مقدار تغییر اندازه هم مربوط به نمونه تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بود. مقدار شاخص تغییر مساحت سطح برش‌های کدوخورشتی تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه و سرخ‌شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۱۲/۶۸، ۱۳/۹۳، ۲۱/۳۶ و ۲۲/۳۸ درصد بود.

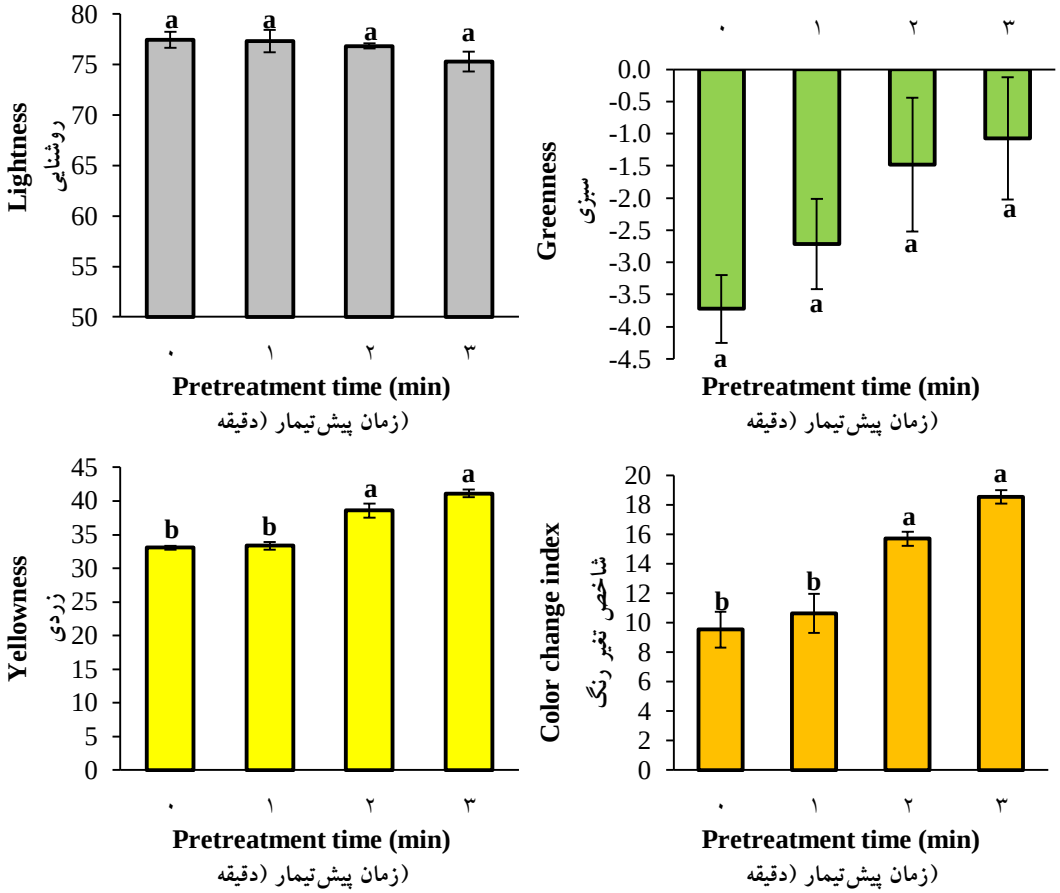

Figure 5- Effect of microwave pretreatment on color indexes of fried zucchini slices.
Different letters above the columns indicate significant difference (p<0.05)

شکل ۵- اثر پیش‌تیمار مایکروویو بر مؤلفه‌های رنگی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده

حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است (p<۰/۰۵)

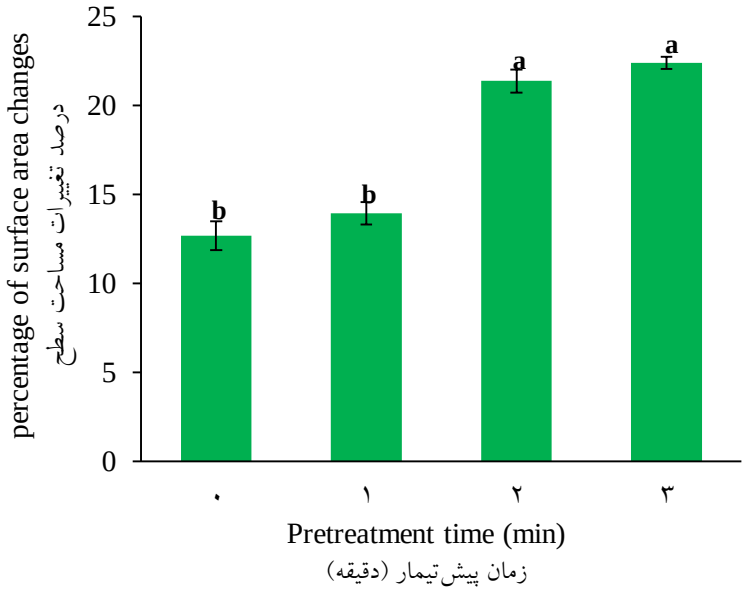

Figure 6- Effect of microwave treatment on percentage of surface area changes of fried zucchini slices.
Different letters above the columns indicate significant difference (p<0.05)

شکل ٦- اثر تیماردهی با مایکروویو بر درصد تغییرات مساحت سطح برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده

حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است (p<۰/۰۵)

- ارزیابی حسی

در جدول ۱ میانگین نتایج ارزیابی حسی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده تیمار نشده و تیمار شده با امواج مایکروویو گزارش شده است. نتایج ارزیابی حسی نشان می‌دهد که اعمال پیش‌تیمار مایکروویو به مدت ۳ دقیقه باعث افزایش امتیازهای مربوط به ویژگی‌های حسی محصول سرخ‌شده می‌شود، البته برای پارامترهای پذیرش ظاهر، بو و بافت این تغییر معنی‌دار نبود (p>۰/۰۵). از نظر امتیاز پذیرش ظاهر، بو، بافت و طعم و همچنین پذیرش کلی، برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده پیش‌تیمار شده با مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بالاترین امتیاز را داشتند.

بحث

سرخ‌کردن عمیق فرآیندی برای پختن غذا با غوطه‌ور کردن آن در روغن خوراکی داغ است (Andreou *et al.*, 2021). سرخ‌کردن به‌طورکلی شامل یک سری تغییرات فیزیکی و شیمیایی شامل تبخیر آب، جذب روغن، دناتوره شدن پروتئین، ژلاتینه شدن نشاسته تا تشکیل پوست ترد است (Juvvi *et al.*, 2024). با توجه به رواج فست فودها و غذاهای آماده، پژوهشگران علاقه‌مند به تحقیق در مورد کاهش جذب روغن طی فرآیند سرخ‌کردن هستند (Salehi, 2020; Verma *et al.*, 2023). نتایج این پژوهش نشان داد که با پیش‌تیمار مایکروویو نه‌تنها زمان سرخ‌کردن، بلکه می‌توان مقدار جذب روغن توسط برش‌های کدوخورشتی کاهش داد. این موضوع ممکن است به دلیل کاهش رطوبت محصول و تغییر ساختاری با توزیع رطوبت اصلاح شده در طول پیش‌تیمار مایکروویو نسبت داده شود که متعاقباً بر جذب روغن تأثیر گذاشته است (Ngadi *et al.*, 2009). در این پژوهش زمان سرخ شدن برش‌های کدوخورشتی تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه به ترتیب برابر ۱۴۷/۳، ۱۲۵/۰، ۱۱۲/۰ و ۹۱/۳ ثانیه بود که نشان دهنده کاهش زمان سرخ‌کردن با افزایش زمان تیماردهی است. همچنین درصد روغن جذب شده توسط برش‌های کدوخورشتی تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه به ترتیب برابر ۱۶/۱۷، ۱۵/۴۱، ۱۴/۵۶ و ۱۳/۸۹ درصد بود که این پارامتر هم نشان می‌دهد با افزایش زمان تیماردهی، درصد روغن جذب شده توسط محصول کاهش یافته است. Zhang و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که پیش‌تیمار مایکروویو باعث می‌شود هنگام سرخ‌کردن ماده غذایی یک پوسته محافظ ضخیم در سطح محصول تشکیل شود که در کاهش جذب روغن در طول سرخ‌کردن و بهبود بافت بسیار تأثیرگذار است (Zhang *et al.*, 2023).

در هنگام سرخ‌کردن برش‌های کدوخورشتی، پدیده‌های انتقال آب تا حدی شبیه به پدیده‌های خشک‌کردن در هوا است. آب از داخل بافت کدوخورشتی به بیرون منتقل شده و به سطح محصول می‌رسد و سپس توسط روغن داغ تبخیر می‌شود. هرچه بتوان آب را راحت‌تر از داخل به سطح بافت کدوخورشتی منتقل کرد، درصد آب خارج شده هنگام سرخ‌کردن، بیشتر می‌شود (Andreou *et al.*, 2021). پیش‌تیمار مایکروویو مقدار رطوبت آزاد موجود برای حذف در طول سرخ‌کردن را کاهش داد و با افزایش زمان پیش‌تیمار، رطوبت نهایی پس از سرخ‌کردن کاهش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال پیش‌تیمار مایکروویو باعث کاهش مقدار رطوبت برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده می‌شود، اما این کاهش معنی‌داری نبود (p>۰/۰۵). Krokida و همکاران (۲۰۰۱) تأثیر پیش خشک‌کردن را بر از دست دادن رطوبت و جذب روغن در

جدول ۱- اثر تیماردهی با مایکروویو بر ویژگی‌های حسی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده

Table 1- Effect of microwave treatment on sensory properties of fried zucchini slices.

زمان تیماردهی (دقیقه) Treatment time (min)	ظاهر Appearance	بو Odor	بافت Texture	طعم Flavor	پذیرش کلی Overall acceptance
0	6.06±1.80 [a]	6.12±1.78 [a]	5.94±1.89 [a]	5.12±2.08 [b]	5.59±1.37 [b]
1	6.24±1.21 [a]	6.53±1.24 [a]	6.06±1.06 [a]	5.59±1.24 [b]	6.24±0.94 [ab]
2	6.29±1.32 [a]	5.88±1.41 [a]	6.29±1.23 [a]	5.82±1.38 [ab]	6.18±1.10 [ab]
3	7.00±1.41 [a]	6.94±1.43 [a]	6.88±1.08 [a]	6.88±1.37 [a]	6.71±1.27 [a]

Different letters within each column represent significance difference ($p < 0.05$)

حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است (p<۰/۰۵)

طول سرخ‌کردن سیب‌زمینی سرخ کرده مطالعه کردند. در این پژوهش نمونه‌ها قبل از سرخ شدن، ابتدا طی زمان‌های مختلف خشک شدند. این پژوهشگران دریافتند که پیش‌تیمار خشک‌کردن به میزان زیادی بر میزان رطوبت و جذب روغن سیب‌زمینی سرخ کرده تأثیر می‌گذارد. در مجموع خشک‌کردن هوا باعث کاهش روغن و رطوبت سیب‌زمینی سرخ‌شده شد، در حالی که تخلخل افزایش یافت (Krokida *et al.*, 2001).

مصرف‌کنندگان مواد غذایی در سال‌های اخیر بیشتر مراقب سلامتی خود شده‌اند و مصرف غذاهای کم‌چرب را بدون از بین بردن بافت غذا ترجیح می‌دهند (Millin *et al.*, 2016). تجزیه و تحلیل بافت در درجه اول به اندازه‌گیری خواص مکانیکی یک محصول مربوط می‌شود، زیرا آنها به ویژگی‌های حسی که توسط انسان شناسایی می‌شوند، ارتباط پیدا می‌کنند (Omidiran *et al.*, 2023). در این پژوهش آزمون نفوذ برای نشان دادن سختی بافت برش‌های کدوخورشتی که بعد از فرآیندهای مایکروویو و سرخ‌کردن رخ داده است، انتخاب شدند. از نظر آماری اختلاف معناداری بین مقدار سختی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده پیش‌تیمار شده به مدت ۳ دقیقه با نمونه شاهد وجود داشت ($p<۰/۰۵$) و بیشترین مقدار سختی هم مربوط به نمونه شاهد بود.

رنگ یک معیار ارزشمند برای تشخیص تغییرات هنگام فرآوری ماده غذایی خام است و در انتخاب محصول نهایی توسط مصرف‌کننده تأثیرگذار است. همچنین، یک شاخص تضمین کیفیت قابل‌توجه است که در مواجهه با شرایط مختلف فرآوری تغییر می‌کند (Omidiran *et al.*, 2023). مصرف‌کنندگانی که طرفدار غذاهای سرخ‌شده با رنگ روشن هستند، تحت تأثیر خرید غذاهای سرخ‌شده با چنین ویژگی‌هایی قرار می‌گیرند (Teruel *et al.*, 2014). در این پژوهش، پیش‌تیمار مایکروویو باعث کاهش روشنایی و سبزی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده شد. البته کاهش روشنایی و سبزی محصول نهایی سرخ‌شده معنی‌دار نبود ($p>۰/۰۵$). گزارش شده است که خشک‌کردن در مایکروویو باعث ایجاد حداقل تغییر رنگ در محصول می‌شود و رنگ محصول را بدون ایجاد پدیده گرمای بیش از حد، حفظ می‌کند (Ozkan *et al.*, 2007). لذا تغییرات رنگ ایجاد شده در این پژوهش حداقل بود و روشنایی و سبزی نمونه‌های سرخ‌شده تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند ($p>۰/۰۵$). کاهش روشنایی را می‌توان به واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی نسبت داد. پس از سرخ‌کردن، کاهش روشنایی با مقدار آب آزاد موجود در سطح نمونه ارتباط دارد که به انعکاس نور کمک می‌کند (Faloye *et al.*, 2024). همچنین زردی محصول افزایش یافت که به افزایش مشتری پسندی محصول کمک می‌کند. با افزایش زمان تیماردهی هم تغییرات رنگ کلی محصول بیشتر شد. گروهی از پژوهشگران گزارش کرده‌اند که افزایش دمای خشک‌کردن و زمان خشک شدن می‌تواند باعث افزایش سرعت و مقدار واکنش مایلارد شود که منجر به رنگ تیره‌تر و قهوه‌ای‌تر در محصول سرخ‌شده می‌شود و می‌تواند باعث افزایش شدت تغییرات رنگ کلی شود (Faloye *et al.*, 2024). Piwinska و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که قدرت بسیار بالای استفاده شده در طول پیش خشک‌کردن در مایکروویو باعث کاهش مقدار روشنایی و افزایش مقدار قرمزی محصول می‌شود که به قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی در طول فرآیند خشک‌کردن مربوط می‌شود (Piwińska *et al.*, 2015).

به نظر می‌رسد کاهش قابل‌توجه زمان خشک‌کردن، بهبود کیفیت و سایر مزایای خشک‌کردن در مایکروویو راه را برای کاربردهای گسترده بالقوه این فناوری هموار کرده است. مزایای خشک‌کردن مایکروویو از گرمایش حجمی و تولید بخار داخلی ناشی می‌شود. حرارت دادن از داخل یک محصول غذایی منجر به ایجاد فشار بخار داخلی می‌شود که رطوبت را از محصول خارج می‌کند. این پدیده منجر به کاهش قابل‌توجهی در زمان خشک شدن می‌شود که منجر به بهبود قابل‌توجه کیفیت محصول می‌شود (Omidiran *et al.*, 2023). تغییرات فیزیکوشیمیایی و جذب روغن به طعم و بافت منحصربه‌فرد غذای سرخ‌شده کمک می‌کند (Lumanlan *et al.*, 2020). نتایج ارزیابی حسی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده نشان داد که استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو به مدت ۳ دقیقه نه‌تنها جذب روغن محصول را کاهش می‌دهد، بلکه امتیاز و مقبولیت مربوط به خصوصیات حسی محصول مانند رنگ، بافت و طعم را افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری

محتوای مواد جامد اولیه در محصولی که قرار است سرخ شود، عامل مهمی است که بر جذب روغن در طول سرخ‌کردن تأثیر می‌گذارد. یکی از این راه‌ها برای افزایش محتوای جامد و کاهش رطوبت، خشک‌کردن قبل از سرخ‌کردن با استفاده از تکنیک‌های مختلف است. در این پژوهش اثر پیش‌تیمار مایکروویو بر زمان سرخ شدن، مقدار رطوبت، جذب روغن، سختی، پارامترهای رنگی، شاخص تغییرات رنگ، تغییرات سطح و خصوصیات حسی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده بررسی شد. استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو و قرار گرفتن در معرض امواج مایکروویو باعث کوتاه‌تر شدن زمان سرخ‌کردن و کاهش جذب روغن توسط برش‌های کدوخورشتی شد. اعمال پیش‌تیمار مایکروویو باعث کاهش مقدار رطوبت برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده شد اما این کاهش معنی‌داری نبود ($p>۰/۰۵$). کمترین مقدار سختی هم مربوط به نمونه تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بود. اعمال پیش‌تیمار مایکروویو باعث کاهش مؤلفه‌های روشنایی و سبزی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده شد، اما شاخص زردی افزایش یافت. با اعمال پیش‌تیمار مایکروویو، پارامترهای تغییر رنگ کلی و تغییر مساحت سطح برش‌های کدوخورشتی تیمار شده و سرخ‌شده افزایش یافت و بیشترین تغییر رنگ و اندازه مربوط به نمونه تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بود که اختلاف معنادار با نمونه شاهد داشتند ($p<۰/۰۵$). از نظر پارامترهای ارزیابی حسی (ظاهر، بو، بافت، طعم و پذیرش کلی)، برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده پیش‌تیمار شده با مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بالاترین امتیاز را داشتند.

سپاسگزاری

هزینه‌های انجام این پژوهش از محل پژوهانه به شماره ۴۰۲۱۷۴، تأمین شده از سوی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا، پرداخت شده است. لذا از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا بابت حمایت مالی و معنوی از این پژوهش، قدردانی می‌کنیم.

منابع

Adedeji, A.A., Ngadi, M.O. & Raghavan, G.S.V. (2009). Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep-fat fried chicken nuggets. Journal of Food Engineering, 91(1), 146-153. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.08.018.

Andreou, V., Dimopoulos, G., Tsonas, T., Katsimichas, A., Limnaios, A., Katsaros, G. & Taoukis, P. (2021). Pulsed electric fields-assisted drying and frying of fresh zucchini. Food and Bioprocess Technology, 14(11), 2091-2106. https://doi.org/10.1007/s11947-021-02705-z.

Clark, D.E., Folz, D.C. & West, J.K. (2000). Processing materials with microwave energy. Materials Science and Engineering: A, 287(2), 153-158. https://doi.org/10.1016/S0921-5093(00)00768-1.

Dehghannya, J. & Ngadi, M. (2023). The application of pretreatments for producing low-fat fried foods: A review. Trends in Food Science & Technology, 140, 104150. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104150.

Faloye, O.R., Sobukola, O.P., Shittu, T.A., Bakare, H.A., Omidiran, A.T., Akinlade, F.A. & Bamidele, O.P. (2024). Effect of assisted drying methods on the microstructure and related quality attributes of fried chicken nuggets. Journal of Agriculture and Food Research, 16, 101196. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101196.

Gallegos-Marin, I., Méndez-Lagunas, L.L., Rodríguez-Ramírez, J. & Martinez-Sánchez, C.E. (2020). Influence of osmotic pretreatments on the quality properties of deep-fat fried green plantain. Journal of Food Science and Technology, 57(7), 2619-2628. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04298-5.

Hosseini, Z., (2006). *Common Methods in Food Analysis*. Shiraz University Pub.

Jia, B., Fan, D., Yu, L., Li, J., Duan, Z. & Fan, L. (2018). Oil absorption of potato slices pre-dried by three kinds of methods. European Journal of Lipid Science and Technology, 120(6), 1700382. https://doi.org/10.1002/ejlt.201700382.

Juvvi, P., Kumar, R. & Semwal, A.D. (2024). Recent studies on alternative technologies for deep-fat frying. Journal of Food Science and Technology, 61(8), 1417-1427. https://doi.org/10.1007/s13197-023-05911-z.

Karacabey, E., Özçelık, Ş.G., Turan, M.S., Baltacioğlu, C. & Küçüköner, E. (2017). Optimization of microwave-assisted predrying and deep-fat-frying conditions to produce fried carrot slices. Journal of Food Process Engineering, 40(2), e12381. https://doi.org/10.1111/jfpe.12381.

Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B. & Marinos-Kouris, D. (2001). Effect of pre-drying on quality of french fries. Journal of Food Engineering, 49(4), 347-354. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00233-8.

Li, Y., Li, Z., Guo, Q., Kong, B., Liu, Q. & Xia, X. (2022). Inhibitory effect of chitosan coating on oil absorption in French fries based on starch structure and morphology stability. International Journal of Biological Macromolecules, 219, 1297-1307. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.176.

Lumanlan, J.C., Fernando, W.M.A.D.B. & Jayasena, V. (2020). Mechanisms of oil uptake during deep frying and applications of predrying and hydrocolloids in reducing fat content of chips. International Journal of Food Science & Technology, 55(4), 1661-1670. https://doi.org/10.1111/ijfs.14435.

Millin, T.M., Medina-Meza, I.G., Walters, B.C., Huber, K.C., Rasco, B.A. & Ganjyal, G.M. (2016). Frying oil temperature: impact on physical and structural properties of french fries during the par and finish frying processes. Food and Bioprocess Technology, 9(12), 2080-2091. https://doi.org/10.1007/s11947-016-1790-2.

Neethu, K.C., Pushpadass, H.A., Franklin, M.E.E. & Krishnamurthy, H. (2024). Exploring oil absorption and distribution in immersion-fried pantoa (Indian dairy dessert): effects of frying media. Journal of Food Science and Technology. https://doi.org/10.1007/s13197-024-06018-9.

Ngadi, M.O., Wang, Y., Adedeji, A.A. & Raghavan, G.S.V. (2009). Effect of microwave pretreatment on mass transfer during deep-fat frying of chicken nugget. LWT - Food Science and Technology, 42(1), 438-440. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.06.006.

Omidiran, A.T., Odukoya, O.J., Akinbule, O.O. & Sobukola, O.P. (2023). Effect of microwave-assisted pre-drying and deep-fat-frying conditions on some quality attributes of orange fleshed sweetpotato chips. Food Chemistry Advances, 3, 100534. https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100534.

Ozkan, I.A., Akbudak, B. & Akbudak, N. (2007). Microwave drying characteristics of spinach. Journal of Food Engineering, 78(2), 577-583. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.026.

Piwińska, M., Wyrwisz, J., Kurek, M. & Wierzbicka, A. (2015). Hydration and physical properties of vacuum-dried durum wheat semolina pasta with high-fiber oat powder. LWT - Food Science and Technology, 63(1), 647-653. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.022.

Salehi, F. (2020). Effect of coatings made by new hydrocolloids on the oil uptake during deep-fat frying: A review. Journal of Food Processing and Preservation, 44(11), e14879. https://doi.org/10.1111/jfpp.14879.

Salehi, F., Goharpour, K. & Razavi Kamran, H. (2024). Effects of different pretreatment techniques on the color indexes, drying characteristics and rehydration ratio of eggplant slices. Results in Engineering, 21, 101690. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101690.

Salehi, F., Haseli, A. & Roustaei, A. (2022). Coating of zucchini slices with Balangu, Basil, and Wild sage seeds gums to improve the frying properties. European Journal of Lipid Science and Technology, 124(2), 2100120. https://doi.org/10.1002/ejlt.202100120.

Salehi, F., Roustaei, A. & Haseli, A. (2021). Effect of surface coating with seeds mucilages and xanthan gum on oil uptake and physical properties of fried potato strips. Food Science & Nutrition, 9(11), 6245-6251. https://doi.org/10.1002/fsn3.2583.

Teruel, M.R., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., Linares, M.B. & Garrido, M.D. (2014). Use of vacuum-frying in chicken nugget processing. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 26, 482-489. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.06.005.

Verma, V., Singh, V., Chauhan, O.P. & Yadav, N. (2023). Comparative evaluation of conventional and advanced frying methods on

Zhang, C., Lyu, X., Aadil, R.M., Tong, Y., Zhao, W. & Yang, R. (2023). Microwave heating instead of blanching to produce low-fat French fries. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 84, 103298. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103298.

hydroxymethylfurfural and acrylamide formation in French fries. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 83, 103233. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103233.

Food Technology & Nutrition / Summer 2024 / Vol. 21 / No. 3

The Application of Microwave to Improve the Quality and Reduce the Frying Time of Zucchini Slices

F. Salehi [a *], M. Amiri [b], S. Ghazvineh [b]

[a] Associate Professor of the Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

[b] BSc Student of the Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Received: 9 July 2024 Accepted: 27 August 2024

Abstract

Introduction: Drying of potato slices before frying significantly reduces the oil uptake by the product. In this research, the effect of microwave pretreatment on the frying time, oil absorption, color indexes, and sensory properties of fried zucchini slices was investigated.

Materials and Methods: In order to apply pretreatment, the zucchini slices with a thickness of 1 cm were placed inside the microwave (power=440 W) for 0, 1, 2 and 3 min. The treated slices were fried by a fryer at a temperature of 160°C. In this research, the frying time, moisture content, oil absorption, hardness, color parameters, color change index, surface area changes, and sensory properties of samples were measured.

Results: The use of microwave pretreatment decreased the frying time, moisture content, and oil absorption of zucchini slices. The frying time of zucchini slices treated by microwave for 0, 1, 2, and 3 min was 147.3, 125.0, 112.0, and 91.3 seconds, respectively. The texture hardness of fried zucchini slices decreased with increasing microwave treatment time. After 3 min of microwave treatment, the lightness and greenness indexes decreased from 77.46 to 75.03, and from -3.72 to -1.07 ($p>0.05$), respectively, and the yellowness index also increased significantly from 33.09 to 41.13 ($p<0.05$). In terms of appearance, odor, texture and taste acceptance scores, as well as overall acceptance, the product pretreated with microwave for 3 min had the highest score.

Conclusion: Treating zucchini slices with the microwaves for 3 min shortened the frying time, reduced oil absorption, and increased sensory acceptability of product.

Keywords: *Hardness, Moisture Content, Oil Absorption, Sensory Properties, Surface Area, Zucchini Slices.*

علوم غذایی و تغذیه / تابستان ۱۴۰۳ / سال بیست و یکم / شماره ۳

* Corresponding Author: F.Salehi@Basu.ac.ir